

Ciri-ciri Asas Beberapa Tanah Yang Dikisar

Mohd Raihan Taha, Lim Sook Yee dan Zamri Chik

Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur
Fakulti Kejuruteraan,
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor,
Malaysia
E-mail: drmrt@eng.ukm.my

Received Date: 30th October 2006 Accepted Date: 23th September 2008

ABSTRAK

Ujian-ujian makmal telah dijalankan untuk menyelidiki ciri-ciri asas kaolinit, montmorillonit, dan tanah UKM pada peringkat nano. Analisis menggunakan mikroskop imbasan elektron (SEM) menunjukkan terdapat lebih banyak zarah bersaiz nano dalam sampel tanah-tanah yang dikisar. Ciri-ciri seperti had cecair (LL), had plastik (PL), indeks plastik (PI), luas permukaan tentu (SSA), pH dan graviti tentu (Gs) bagi kaolinit, montmorillonit dan tanah UKM pada saiz asal dan setelah pengisaran juga dikaji dan dibandingkan. Keputusan ujikaji menunjukkan bahawa nilai-nilai had cecair, had plastik, luas permukaan tentu dan graviti tentu bagi tanah/lempung adalah lebih tinggi apabila saiznya dihaluskan. Namun, nilai-nilai pH dan indeks plastik tanah/lempung yang dihaluskan adalah lebih rendah daripada nilai-nilai bagi sampel saiz asal. Keputusan ujian kekuatan tanah pula menunjukkan bahawa semakin tinggi peratusan zarah yang dikisar yang wujud dalam tanah/lempung, semakin tinggi kekuatan tanah/lempung tersebut. Oleh itu, tanah/lempung yang dikisar sehingga ke peringkat nano amat berpotensi digunakan bagi mengubah atau memperbaiki ciri-ciri tanah/lempung untuk pelbagai aplikasi.

Kata kunci: Tanah nano, tanah baki, nanoteknologi, bahan nano, pembaikan tanah.

ABSTRACT

Laboratory experiments were conducted to study the fundamental properties of kaolinite, montmorillonite and a UKM soil at nano levels. SEM analysis showed that much more nano size particles were obtained after the milling process. Testings and comparison of the properties of kaolinite, montmorillonite and UKM soil with regard to its liquid limit, plastic limit, plasticity index, specific surface, pH and specific gravity at the normal and after crushing were then conducted. Laboratory tests results showed that the values of liquid limit, plastic limit, specific surface and specific gravity of soil/clay were higher after crushing, but its pH and plasticity index were lower compared to the initial soil samples. The results of soil strength test showed that when the percentage of crushed particles in the soil/clay is increased, the strength of the soil/clay will also be increased. Thus, crushed soil/clay or nanoparticles are potentially suitable for changing and improving the properties of soil/clay for various applications.

Keywords: Nano soil, residual soil, nanotechnology, nanomaterials, soil improvement.

PENDAHULUAN

Nanoteknologi merupakan satu teknologi strategik bagi negara-negara maju sejak sedekad yang lalu. Namun, di Malaysia, nanoteknologi masih berada di tahap permulaan terutamanya dalam bidang kejuruteraan awam. Nanoteknologi didefinisikan sebagai ciptaan, penggunaan bahan, alat dan sistem untuk mengawal bentuk dan saiz struktur pada skala nanometer. Bagi bahan yang telah mempunyai saiz zarah individu pada peringkat nano (100 nanometer ke bawah), ciri-cirinya akan berbeza dengan saiz asal. Pada saiz nano, bahan-bahan mematuhi hukum mekanik kuantum dan bukan lagi hukum-hukum biasa seperti mekanik Newton (Taha 2005).

Salah satu contoh bahan yang sering dibincangkan antara ciri peringkat biasa dan nano adalah emas. Seperti bahan-bahan lain yang telah dikaji, zarah emas yang dikecilkan kepada saiz nano tidak mempunyai ciri-ciri yang sama seperti saiz asalnya (Ratner & Ratner 2003). Emas juga tidak akan larut dalam air dan berwarna "keemasan" apabila dilihat di dalam dan di luar air. Namun, zarah emas pada pelbagai saiz nano boleh berwarna-warni dalam larutan. Emas juga adalah kalis air dan akan kekal sebagai emas walaupun dibiarkan dalam larutan berpuluh-puluh tahun. Fakta ini telah digunakan oleh pembuat kaca zaman dahulu yang masih nampak hasil mereka pada banyak tingkap dan pintu gereja serta masjid lama yang berwarna-warni. Secara amnya, zarah emas pada saiz nano adalah lebih reaktif daripada saiz asalnya dan bertindak sebagai pemangkin yang baik. Ini kerana, lebih kecil saiz zarah, jumlah saiz permukaannya lebih besar dan oleh itu ia menjadi lebih reaktif dan berupaya menghasilkan bahan-bahan dengan aplikasi yang baru.

Pada tahun 1959, Richard Feynman telah mengemukakan idea tentang nanoteknologi dalam kuliah am beliau bertajuk "*There's plenty of room at the bottom*" (Feynman 1959). Beliau berpendapat bahawa tiada sebarang batasan untuk membina dan mengubah molekul kepada atom-atom. Idea yang dikemukakan oleh beliau hanya mengenai kemungkinan yang boleh dilakukan secara prinsipnya pada skala kecil tetapi tidak merangkumi cara untuk membuatnya. Kuliah ini telah banyak kali disebut sebagai pemangkin bidang nanoteknologi. K. Eric Drexler pula telah mengemukakan idea pembuatan molekular dalam buku beliau, "*Engines of*

Creation" (Drexler 1986). Menurut beliau, mesin atau sistem pemasangan nano yang direka bentuk bagi tujuan penghasilan bahan atau barangan pada saiz nanometer boleh diprogramkan supaya menghasilkan barangan tanpa batasan atau tak terhingga iaitu menghasilkan apa-apa barangan sahaja yang terdiri daripada atom-atom individu. Walau bagaimanapun ada yang berpendapat (seperti tulisan Toumey 2005) bahawa orang yang sebenarnya mempelopori bidang nanoteknologi adalah Gerd Binnig dari German. Bersama-sama Heinrich Rohrer yang berasal dari Switzerland, mereka membuat rekaan yang terpenting sehingga benda-benda sebesar beberapa nanometer dapat dilihat. Dengan penemuan STM (*scanning tunnelling microscope*) pada akhir tahun 70-an ini, mereka dianugerahkan hadiah Nobel Fizik tahun 1986.

Sejak sedekad lepas, negara-negara maju telah menjadikan nanoteknologi sebagai satu teknologi strategik dengan menjalankan banyak kajian dalam nanoteknologi. Nanoteknologi memang tidak asing lagi bagi bidang-bidang seperti perubatan, elektronik dan pembuatan. Namun, penggunaan nanoteknologi dalam bidang kejuruteraan awam masih pada peringkat permulaan. Kajian ini dijalankan keatas tanah/lempung dengan menggunakan pendekatan nanoteknologi untuk membuka jalan bagi aplikasi nanoteknologi dalam kejuruteraan awam amnya dan kejuruteraan geoteknik secara khususnya. Secara terperinci, kajian ini menyelidiki sejauh mana skala nano akan mempengaruhi ciri-ciri tanah/lempung.

NANOTEKNOLOGI DAN GEOTEKNOLOGI

Nanoteknologi memang tidak asing lagi dalam geoteknologi (Taha et al. 2005). Asas-asas kelakuan tanah yang berkaitan seperti struktur molekul air, lapisan-lapisan air pada permukaan butiran tanah, teori lapisan pendua terserak dan struktur asas minerologi lempung semuanya adalah fenomena pada skala nano. Perkara-perkara yang disebutkan ini telah diketahui oleh pakar-pakar geoteknik sejak lebih 40 tahun dulu (contoh Bolt 1956 dan Lambe 1958a&b). Mereka telah menggunakan teori-teori yang berkaitan untuk memahami dan menyelesaikan masalah geoteknik seperti kekuatan tanah, pembaikan lempung mengembang, reka bentuk lapisan pelapik kambusan dan lain-lain. Oleh

itu boleh dikatakan ahli-ahli geoteknik adalah antara kumpulan yang pertama menggunakan nanoteknologi dalam tugas mereka walaupun mereka tidak menyedarinya. Penggunaan bahan nano dalam tanah masa kini hanya melibatkan menyelesaikan masalah pencemaran dalam tanah. Kajian-kajian contohnya oleh Ponder et al. (2001), Zhang (2003), dan Song et al. (2005) mendapati penggunaan pelbagai bahan-bahan nano boleh mempertingkatkan proses pemusnahan dan penyerapan bahan-bahan toksik.

BAHAN DAN KAEDAH KAJIAN

Bahan-bahan (tanah) yang dikaji dalam penyelidikan ini adalah:

- (i) Tanah baki (sedimen) yang diperolehi dari satu cerun bukit berhampiran Fakulti Kejuruteraan, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM). Tanah yang diperolehi ialah tanah yang digali sedalam 0.6 m di bawah permukaan tanah bagi mengasingkan campuran akar dengan lapisan humus tanah. Tanah yang telah digali terus diletak dalam plastik dan diangkut ke Makmal Geoteknik, Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur dan seterusnya dikeluarkan untuk disimpan dalam bekas besar.
- (ii) Mineral lempung kaolinit dan montmorillonit adalah bahan komersial piawai yang diperolehi dari syarikat pembekal di mana ciri-ciri asasnya akan di bincangkan dalam keputusan nanti.

Bagi mendapatkan tanah/lempung bersaiz nano, sampel dikisar dengan mesin kisaran bebola. Sebanyak 300g tanah diayak melepasi ayakan 425 μm . Kemudian, sampel yang lebih halus itu dimasukkan sedikit demi sedikit ke dalam mesin kisaran bebola jenis *Planetary Mono Mill Pulverisette 6* keluaran syarikat Fritsch, German. Bebola yang digunakan adalah dari jenis *sintered corundum* yang berdiameter 5 mm. Sebanyak 20 bebola digunakan dalam setiap kisaran. Kisaran bagi tanah/lempung dibiarkan selama 10-13 jam supaya mencapai tahap saiz nano. Semasa kisaran, air suling akan ditambah ke dalam bekas besi mesin kisaran bebola mengikut keperluan bagi mengelakkan pemanasan yang melampau. Sampel tanah/lempung asal dan yang telah dikisarkan kepada saiz nanometer dianalisis menggunakan mikroskop imbasan

elektron (SEM) di Unit Mikroskopi Elektron, UKM.

Semua ujikaji had-had Atterberg, ujian pH dan graviti tentu dilakukan berdasarkan BS 1377 : Bahagian 2:1990 di mana bagi had cecair kaedah penusukan kon telah digunakan. Ujikaji bagi tanah/lempung nano dilakukan menggunakan campuran 2% tanah yang dikisar dan tanah/lempung asal 98%. Ini kerana jumlah bahan yang dapat dikisar sehingga ke peringkat nano adalah amat terhad.

Penentuan luas permukaan tentu dilakukan berpanduan kaedah etilin glikol monoetil eter (EGME) yang dikemukakan oleh Cerato dan Lutenege (2002). Secara ringkasnya, 1g tanah/lempung diletakkan ke dalam satu bekas aluminium kering dan kira-kira 3ml EGME ditambah ke dalam tanah/lempung tersebut menggunakan pipet. Setelah adunan dikisar dengan tangan, ianya diletakkan kelalang vakum selama 24 jam. Kemudian ia dikeluarkan dan ditimbang. Luas permukaan tentu, $SSA \text{ (m}^2\text{/g)} = SSA = W_a / 0.000286 W_s$, di mana W_a = berat EGME yang diresap oleh tanah, dan W_s = berat tanah/lempung asal. Perincian dan pengiraan lengkap diberikan oleh Cerato and Lutenege (2002).

Ujian kekuatan dilakukan dengan mencampurkan dan memadatkan tanah UKM dengan simen Portland dalam kiub motar 50 mm x 50 mm x 50 mm. Campuran adalah berdasarkan nisbah berat 94% tanah UKM dan 6% simen Portland. Pecahan tanah nano adalah 1 dan 2% sahaja daripada jumlah tanah UKM kerana kesukaran mengisar tanah seperti mana yang disebutkan sebelum ini. Nisbah air yang digunakan adalah 12.5% (nisbah isipadu air [iaitu 250ml] kepada berat jumlah [iaitu 2000g]). Sampel-sampel tanah yang dikisar sebenarnya amat terhad iaitu jumlah berat yang kecil dan masa kisaran yang lama. Oleh itu juga ujian bagi kaolinit dan montmorillonit tidak dapat dilakukan.

Bagi penyediaan sampel ujian kekuatan, satu lapisan mortar campuran tanah simen setebal kira-kira 25mm yang siap dibancuh dituang ke dalam acuan dan dihentak sebanyak 32 kali dengan alat penghentak. Hentakan yang sama diulang untuk acuan lain. Apabila hentakan siap, lapisan kedua diisi ke dalam semua acuan dan dihentak 32 kali lalu diratakan. Ini memastikan bahawa semua sampel berada dalam keadaan kepadatan yang hampir sama. Sampel yang telah siap kemudiannya dibiarkan selama

24 jam. Selepas 24 jam, sampel dikeluarkan dan dimensinya dicatat lalu dilabel mengikut peratusan kandungan simen-tanah sebelum ditutup dengan guni yang disembur air untuk ujian 7 hari. Selepas 7 hari, sampel diuji dengan mesin ujian kekuatan simen/motar universal.

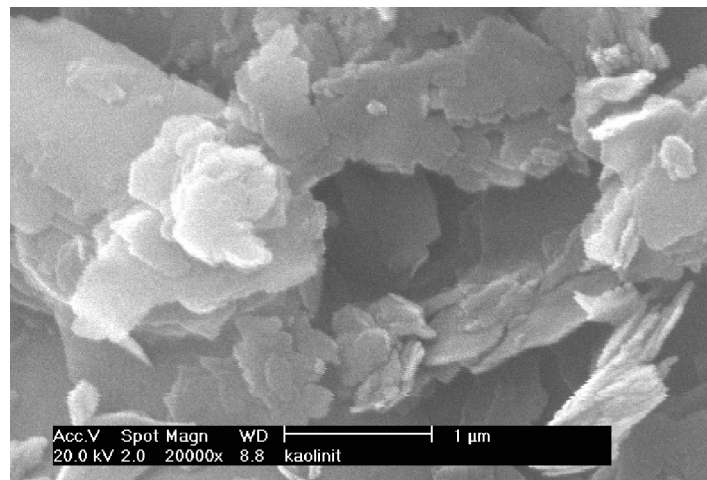
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN Mikroskop Imbasan Elektron (SEM)

Sampel kaolinit, montmorillonit dan tanah UKM dikisar selama 10 hingga 13 jam sebelum dianalisis menggunakan SEM. Analisis SEM menunjukkan terdapat lebih banyak zarah tanah bersaiz nano setelah dikisar. Rajah 1 sehingga 6 menunjukkan imej yang dipaparkan oleh SEM dengan kadar pembesaran 20,000 kali.

Perbandingan antara zarah-zarah kaolinit asal dan yang dikisar menunjukkan bahawa kaolinit yang dikisar mengandungi lebih banyak zarah bersaiz nano. Seperti yang tertera

dalam Rajah 1, kaolinit asal berbentuk kepingan besar dengan saiznya masih dalam ukuran μm . Setelah dikisar, kepingan besar tersebut telah dipecahkan menjadi kepingan yang lebih kecil dan halus seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2. Kaolinit yang bersaiz 60-80 nm sudah boleh jelas kelihatan walaupun kuantitinya tidak terlalu banyak.

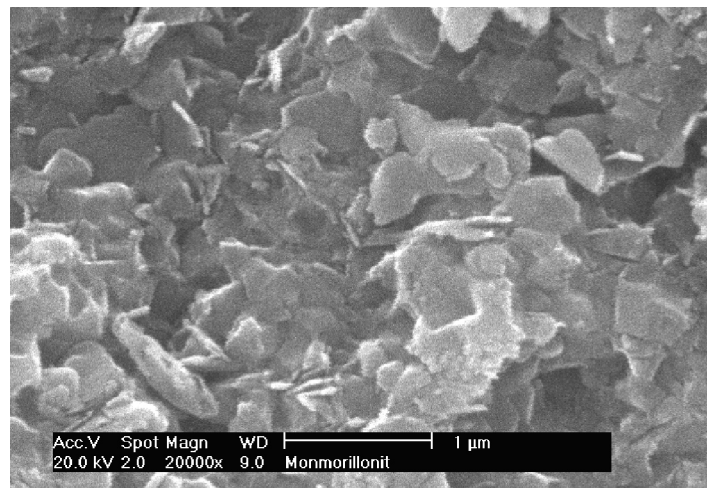
Merujuk kepada Rajah 3 dan 4 pula, kepingan besar montmorillonit yang masih berukuran μm telah menjadi hirisan nipis dan bebola kecil setelah dikisar. Dalam Rajah 4, zarah-zarah yang berukuran 40-80 nm boleh dilihat dengan jelasnya. Selain itu, apabila zarah-zarah mencapai saiz nano, ia lebih mudah melekat antara satu sama lain. Daya tarikan *van der Waals* yang berlaku pada tahap ini memang telah diketahui mendatangkan banyak masalah kepada pengkaji bahan-bahan nano (contoh Cao 2004, dan Jiang et al. 2005).



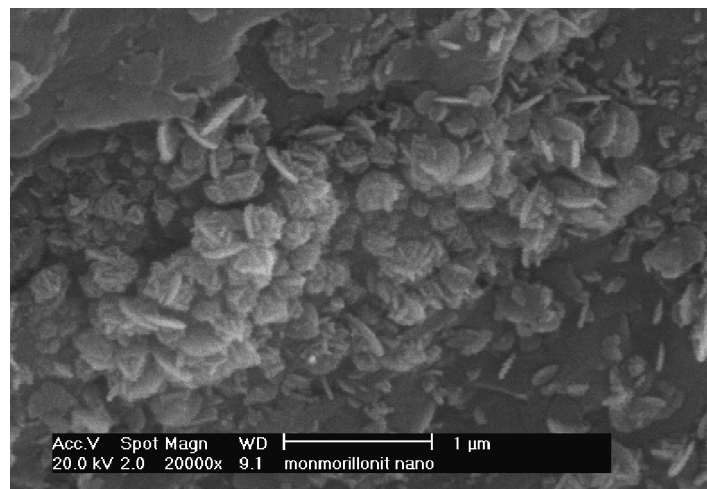
Rajah 1. Foto menunjukkan kaolinit sebelum dikisar



Rajah 2. Foto menunjukkan kaolinit bersaiz nano selepas dikisar



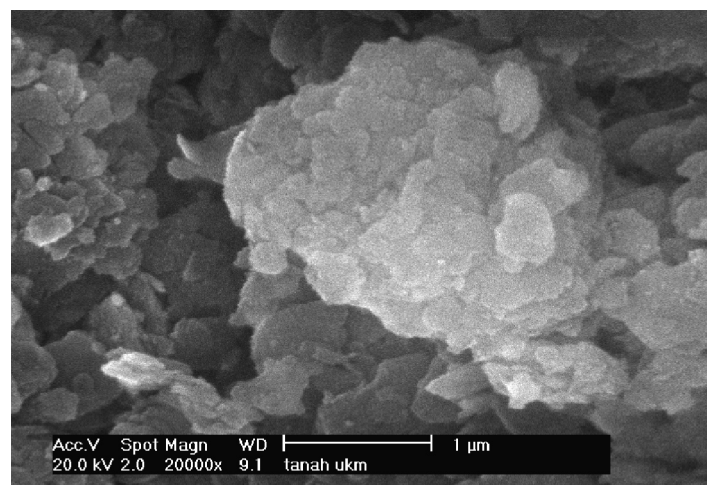
Rajah 3. Foto menunjukkan montmorillonit sebelum dikisar



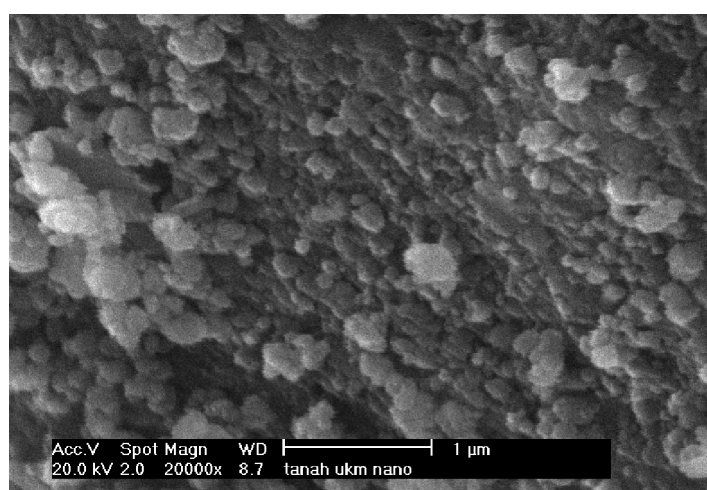
Rajah 4. Foto menunjukkan montmorillonit bersaiz nano selepas dikisar

Dengan membandingkan Rajah 5 dan 6, kelihatan kepingan besar tanah UKM telah menjadi bulatan kecil setelah dikisar. Melalui

analisis SEM, saiz tanah UKM berjaya dikecilkan kepada 50-60nm melalui proses pengisaran walaupun kuantitinya sedikit.



Rajah 5. Foto menunjukkan tanah UKM sebelum dikisar



Rajah 6. Foto menunjukkan tanah UKM bersaiz nano selepas dikisar

Had-had Atterberg

Jadual 1 menunjukkan keputusan ujian had plastik, had cecair dan indeks plastik bagi sampel tanah asal (Sampel A) dan selepas dicampur dengan tanah yang telah dikisar (Sampel C = 98% tanah asal 2% tanah yang dikisar). Had plastik bagi ketiga-tiga sampel tanah campuran didapati lebih tinggi daripada nilai PL sampel asal. Merujuk kepada Jadual 1, nilai PL bagi kaolinit asal adalah 27% dan meningkat kepada 34% apabila lebih banyak saiz zarahnya berada dalam saiz nano. Bagi sampel montmorillonit pula, PL meningkat daripada 61% kepada 71%. Begitu juga, sampel tanah UKM mencatat nilai PL 38% berbanding nilai asalnya 24%.

Keputusan juga menunjukkan bahawa LL bagi ketiga-tiga Sampel C adalah lebih tinggi sedikit daripada Sampel A. Had cecair kaolinit asal adalah 79% dan meningkat sedikit menjadi 81%. Bagi montmorillonit, nilai LL meningkat daripada 151% kepada 160%. Nilai LL tanah UKM yang belum dikisar ialah 62% dan nilai ini menjadi 64% setelah dicampur dengan yang dikisar.

Daripada keputusan yang tertera dalam Jadual 1 dan 2, didapati PI bagi ketiga-tiga Sampel C adalah lebih rendah daripada Sampel A. Indeks plastik kaolinit asal ialah 52% dan menurun menjadi 47%. Namun, kedua-dua sampel masih mempunyai sifat berkeplastikan sangat tinggi. Indeks plastik yang melebihi 40% dikelas sebagai berkeplastikan sangat tinggi oleh Burmister (1949). Bagi montmorillonit pula, PI menurun daripada 90% kepada 89% setelah dicampur dengan tanah yang dikisar. Oleh itu, montmorillonit asal dan yang dicampur masih dikelas sebagai berkeplastikan sangat tinggi. Indeks plastik tanah UKM pada keadaan asal ialah 38% dan menurun menjadi 26% dan nilai PI ini berada dalam julat keplastikan tinggi iaitu dalam julat 20-40% seperti yang dinyatakan oleh Burmister (1949).

Banyak ciri-ciri geoteknik dan kelakuan tanah yang boleh dikaitkan dengan had cecair dan indeks plastik. Contohnya, semakin tinggi PI semakin besar pengecutan tanah apabila kering

Jadual 1. Had plastik, had cecair dan indeks plastik bagi tanah asal (Sampel A) dan selepas dicampur dengan tanah yang dikisar (Sampel C)

Sampel	Kaolinit		Montmorillonit		Tanah UKM	
	Sampel A	Sampel C	Sampel A	Sampel C	Sampel A	Sampel C
Had plastik, PL (%)	27	34	61	71	24	38
Had cecair, LL (%)	79	81	151	160	62	64
Indeks plastik, PI (%)	52	47	90	89	38	26

(Mitchell & Soga 2005). Implikasinya tanah akan retak bila kering menyebabkan kebolehtelapan meningkat dan seterusnya kekukuhan tanah menjadi satu isu. Di samping itu, kebolehtelapan lempung juga lebih baik dengan nilai PI yang lebih rendah (Oweis & Khera 1998). Daripada kajian ini, PI didapati menurun bila tanah mengandungi lebih banyak zarah halus/nano dan ini adalah sesuatu yang amat baik bagi pembinaan struktur geoteknik terutama bagi pelapik dan penutup kambusan. Penggunaan bahan-bahan halus/nano boleh memperbaiki ciri-ciri tanah seperti yang disebutkan.

Luas Permukaan Tenu (SSA)

Keputusan ujikaji menunjukkan bahawa nilai SSA sampel yang telah dicampur (Sampel C) dikisar adalah lebih tinggi daripada tanah asal (Sampel A) seperti yang dijangkakan. Merujuk kepada keputusan ujikaji yang mana empat ujian dilakukan bagi setiap sampel, nilai SSA kaolinit asal ialah $25.3 \text{ m}^2/\text{g}$ dan nilai ini meningkat menjadi $39.8 \text{ m}^2/\text{g}$ selepas dicampur dengan saiz zarah yang lebih kecil (Jadual 2). Nilai luas permukaan tentu montmorillonit meningkat daripada $730.1 \text{ m}^2/\text{g}$ dan kepada $792.7 \text{ m}^2/\text{g}$ manakala tanah UKM pula mempunyai SSA yang rendah iaitu $2.4 \text{ m}^2/\text{g}$ dan nilai ini menjadi $3.9 \text{ m}^2/\text{g}$. Peningkatan luas permukaan akibat

pengisaran atau pengecilan saiz zarah ini adalah fenomena utama yang sering di ambil faedahnya oleh penyelidik bahan nano. Seperti yang dikaji oleh Nurmi et al. (2005), luas permukaan zarah besi nano bervalen sifar (zero-valent iron [ZVI] nanoparticles) yang tinggi ini adalah merupakan faktor utama yang menyebabkan kadar degradasi pencemar luar biasa.

Nilai pH Tanah

Merujuk kepada keputusan ujikaji, nilai pH tanah didapati berkurangan setelah dicampur sampel dikisar lebih halus (Jadual 3). Nilai pH kaolinit asal menurun daripada 5.7 menjadi 5.5. Namun, kedua-duanya masih bersifat asid. Bagi montmorillonit dan tanah UKM, pH asal mereka adalah masing-masing 8.3 dan 4.7 menjadi 7.9 dan 4.4.

Keputusan ini tidaklah memeranjatkan kerana zarah-zarah tanah yang lebih halus ini berupaya untuk bertindak lebih aktif dengan oksigen di udara dan menghasilkan asid yang menurunkan pH tanah keseluruhan. Walau bagaimanapun penurunan pH yang diperhatikan adalah agak kecil untuk memberikan kesan yang ketara kepada kekuatan tanah secara amnya. Bagi penurunan pH yang besar, kekuatan tanah boleh menurun dengan mendadak (Shigematsu et al. 2006).

Jadual 2. Permukaan spesifik (purata 4 ujian) bagi tanah asal (Sampel A) dan selepas dicampur dengan tanah yang dikisar (Sampel C)

Kaolinit		Montmorillonit		Tanah UKM	
Sampel A (m^2/g)	Sampel C (m^2/g)	Sampel A (m^2/g)	Sampel C (m^2/g)	Sampel A (m^2/g)	Sampel C (m^2/g)
25.3	39.8	730.1	792.7	2.4	3.9

Jadual 3. Nilai pH (purata 4 ujian) bagi tanah asal (Sampel A) dan selepas dicampur dengan tanah yang dikisar (Sampel C)

Kaolinit		Montmorillonit		Tanah UKM	
Sampel A	Sampel C	Sampel A	Sampel C	Sampel A	Sampel C
5.7	5.5	8.3	7.9	4.7	4.4

Jadual 4. Nilai graviti tentu (purata 3 ujian) bagi tanah asal (Sampel A) dan selepas dicampur dengan tanah yang dikisar (Sampel C)

Kaolinit		Montmorillonit		Tanah UKM	
Sampel A	Sampel C	Sampel A	Sampel C	Sampel A	Sampel C
2.62	2.68	2.72	2.76	2.69	2.75

Graviti Tentu (G_s)

Graviti tentu ialah nisbah berat unit untuk bahan yang dikaji kepada berat unit air. Kebanyakan nilai G_s tanah adalah dalam lingkungan 2.60-2.80. Keputusan ujikaji menunjukkan nilai G_s bagi ketiga-tiga sampel yang dicampur dengan zarah yang dikisar adalah sedikit lebih tinggi daripada sampel asal (Jadual 4).

Melalui ujikaji, G_s bagi kaolinit, montmorillonit dan tanah UKM asal adalah 2.62, 2.72, dan 2.69 lalu masing-masing menjadi 2.68, 2.76, dan 2.75. Peningkatan ini kemungkinan hasil daripada penurunan isipadu zarah bagi berat sampel tertentu akibat pengecilan saiz zarah yang seterusnya menyebabkan graviti tentu zarah yang lebih kecil ini yang membuatkan keseluruhan campuran tanah menjadi lebih berat secara relatifnya. Peningkatan graviti tentu ini akan membolehkan pemadatan tanah yang juga lebih tinggi dan seterusnya menguatkan struktur tanah.

Kekuatan Tanah

Melalui keputusan ujikaji, dengan kehadiran lebih banyak zarah yang dikisar dalam campuran tanah dan simen, maka lebih kuat campuran itu. Tambahan pula dengan peningkatan graviti tentu seperti yang diperolehi sebelum ini, sudah pasti pemadatan akan menjadi lebih berkesan dan seterusnya kekuatan tanah akan meningkat.

Merujuk kepada Jadual 5 didapati bagi sampel ujikaji tanpa tanah UKM gagal pada tekanan

689 kN/m². Dengan penambahan 1% tanah UKM yang dikisar ke dalam sampel ini, tekanan yang diperlukan meningkat kepada 1149 kN/m². Sampel yang mengandungi 2% tanah UKM yang dikisar pula hanya dapat dipecahkan dengan purata tegasan 1493 kN/m². Pembaikan ataupun peningkatan kekuatan campuran tanah-simen yang diperolehi daripada pengecilan saiz zarah dalam kes ini adalah amat memberangsangkan. Tambahan bahan nano ini dilakukan hanya menggunakan tanah itu sendiri tanpa sebarang bahan kimia tambahan yang biasa digunakan dalam banyak proses pembaikan tanah.

KESIMPULAN

Ciri-ciri tanah/lempung asal dan campuran tanah asal dengan bahagian yang dikisar seperti had cecair, had plastik, indeks plastik, permukaan spesifik, pH dan graviti tentu telah ditentukan melalui ujikaji. Tujuan pengisaran tersebut adalah untuk mengecilkan saiz zarah supaya lebih banyak saiz zarah berada dalam peringkat nano iaitu antara 1-100nm. Kajian mengenai ciri-ciri geoteknik asas tanah di peringkat nano adalah menjadi tujuan utama penyelidikan ini. Kesimpulan utama daripada ujikaji-ujikaji yang telah dijalankan adalah:

- (1) Didapati campuran tanah/lempung asal dengan tanah/lempung yang dikisar mempunyai had plastik dan had cecair yang lebih tinggi daripada tanah/lempung asal. Indeks plastik campuran tanah/lempung ini pula lebih rendah daripada sampel asal.

Jadual 5. Keputusan ujian kekuatan tanah bercampur simen

No. ujian	1 (kN/m ²)	2 (kN/m ²)	3 (kN/m ²)	Purata (kN/m ²)
0% tanah UKM nano	689	861	517	689
1% tanah UKM nano	1206	1034	1206	1149
2% tanah UKM nano	1378	1550	1550	1493

Ini boleh mendatangkan banyak kebaikan kepada kelakuan tanah contohnya bagi seperti pengurangan pengecutan apabila kering dan keboleherjaan lempung yang lebih baik.

- (2) Luas permukaan tentu campuran tanah/lempung yang tidak dikisar dengan yang dikisar adalah lebih tinggi daripada tanah/lempung asal seperti yang dijangkakan. Keaktifan tanah untuk mengekal dan bertindakbalas dengan pencemar boleh ditingkatkan.

- (3) Nilai pH bagi campuran tanah/lempung asal dengan yang dikisar adalah lebih rendah daripada tanah/lempung asal.

- (4) Tanah/lempung juga mempunyai graviti tentu lebih tinggi pada peringkat nano.

- (5) Melalui ujian kekuatan tanah, didapati semakin tinggi peratusan zarah-zarah nano yang hadir dalam sampel tanah/lempung dan simen, maka sampel tersebut semakin kuat. Oleh itu, tanah/lempung nano adalah sesuai digunakan untuk memperbaiki ciri-ciri tanah/lempung.

RUJUKAN

- Bolt, G.H. 1956. Physical-chemical analysis of the compressibility of pure clay. *Geotechnique* 6(2): 86-93.
- Burmister, D.M. 1949. Principles and techniques of soil identifications. *Proceedings of Highway Research Board*, hlm 402-433.
- Cao, G. 2004. *Nanostructures & nanomaterials – Synthesis, properties & applications*. London: Imperial College Press.
- Cerato, A.B. & Luttenegger, A.J. 2002. Determination of surface area of fine-grained soils by the Ethylene Glycol Monoethyl Ether (EGME) method. *Geotechnical Testing Journal ASTM (GTJ)* 25 (3): 314-320
- Drexler, K.E. 1986. *Engines of creation; The coming era of nanotechnology*. USA: Anchor.
- Feynman, R. 1959. There's plenty of room at the bottom. www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html
- Jiang, X., Kowald, T.L., Staedler, T., and Trettin, H.F. 2005. Carbon nanotubes as a new reinforcement material for modern cement-based binders. *2nd Intl Symp. on Nanotechnology in Construction (NICOM)*, hlm 209-213.
- Lambe, T.W. 1958a. The structure of compacted clay, *J. Soil Mech and Found Div., ASCE*, 84(2(1)1654): 34.
- Lambe, T.W. 1958b. The engineering behaviour of compacted clay, *J. Soil Mech and Found Div., ASCE*, 84(2(1)1655): 35.
- Mitchell, J.K., & Soga, K. 2005. *Fundamentals of soil behavior*, Ed. ke-3. New York: John Wiley & Sons.
- Nurmi, J.T., Tratnyek, P.G., Sarathy, V., Baer, D.R., Amonette, J.E., Pecher, K., Wang, C., Linehan, J.C., Matson, D.W., Penn, R.L., & Driessen, M.D. 2005. Characterization and properties of metallic iron nanoparticles: Spectroscopy, electrochemistry, and kinetics. *Environ. Sci. Technol.* 39 (5): 1221 – 1230.
- Oweis, I.S., & Khera, R.P. 1998. *Geotechnology of waste management*, Ed. ke-2. Boston: PWS Publishing Company.
- Ponder, S.M., Darab, J.G., Bucher, J., Caulder, D., Craig, I., Davis, L., Edelstein, N., Lukens, W., Nitsche, H., Rao, L., Shuh, D.K., & Mallouk, T.E. 2001. Surface chemistry and electrochemistry of supported zerovalent iron nanoparticles in the remediation of aqueous metal contaminants. *Chem. Mater* 13: 479-486.
- Ratner, M., & Ratner, D. 2003. *Nanotechnology-A gentle introduction to the next big idea*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Shigematsu, H., Higashi, S., Nozawa, M., & Yashima, A. 2006. Geotechnical properties of cohesive soil acidified by pyrite inclusion. *Proc. 5th ICEG Environmental Geotechnics*, 1 hlm. 644-650.
- Song, W., Li, G., Grassian, V.H., & Larsen, S.C. 2005. Development of improved materials for environmental NaY Zeolites. *Environ. Sci. Technol.* 39(5): 1214 – 1220.
- Taha, M.R. 2005. Nanoteknologi dalam kejuruteraan awam, Syarahan Keynote 3, Prosiding Kejuruteraan Awam UKM - Seminar Teknikal JKAS-Zaaba, UKM, hlm. 103-113.
- Taha, M.R., Ismail, E. & Chik, Z. 2005. Some nano aspects and concepts in geotechnology, *Proc. 2nd Intl Symp. on Nanotechnology in Construction (NICOM)*, hlm. 373-381.
- Toumey, C. 2005. Does nanotechnology descend from Richard Feynman's 1959 talk? *Engineering and Science*, No. 1/2, : 6-23.
- Zhang, W. 2003. Nanoscale iron particles for environmental remediation : an overview. *Journal of Nanoparticles Research* 5: 323-332.

